

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DE 04/002477

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D - 5 JAN 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 53 216.1

Anmeldetag: 13. November 2003

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH,
93049 Regensburg/DE

Bezeichnung: Optisch gepumpte Halbleitervorrichtung

IPC: H 01 S 5/06

BEST AVAILABLE COPY

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Dezember 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

ACURKS

Optisch gepumpte Halbleitervorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung für MILOS-VECSEL/Disklaser und MILOS-VECSEL-Bauelemente (aktive Bereich: $\varnothing > 6\mu\text{m}$, typisch $50-400\mu\text{m}$) in **Einschrittepitaxie**, die erlaubt über größere Bereiche lateral optisch zu pumpen und ein zirkular-symmetrisches gauß-ähnliches Pumpprofil ($\varnothing > 10\mu\text{m}$, typisch $50-400\mu\text{m}$) zu erzielen. (MILOS=Monolithic Integrated Lateral Optical Pumped Semiconductor, VECSEL=Vertical External Cavity Surface Emitting Laser). Im Vergleich zur Zweischrítepitaxie, mit Problemen beim Überwachsen und optischen Verlusten an den Grenzflächen, wird bei dieser Erfindung die *Wellenführung des Pumplichts von der vertikalen RPG-Struktur getrennt, mit lokaler Kopplung des Pumplichts in den vertikalen RPG-Wellenleiter des MILOS-Scheibenlaserbereich*. Damit erreicht man

- für großflächige vertikale TEM_{00} -Laseremission hoher Leistung,
- Effizienz und
- Fertigungstauglichkeit durch Einschrittepitaxie ohne Grenzflächenprobleme zwischen Pump- und vertikalen Laserbereich.

Ein MILOS-Scheibenlaser in Einschrittepitaxie ist in Abb. 1 (A: Draufsicht) dargestellt, d.h. ein oder mehrere laterale Pumplaserbereiche und einen vertikaler Scheibenlaserbereich. Die Pumplaser- und Scheibenlaserbereiche können in nachfolgenden Prozeßschritten auf Waferlevel unterschiedlich ausgeführt werden, siehe Querschnitte in Abb. 1. (B vertikal view und C side view).

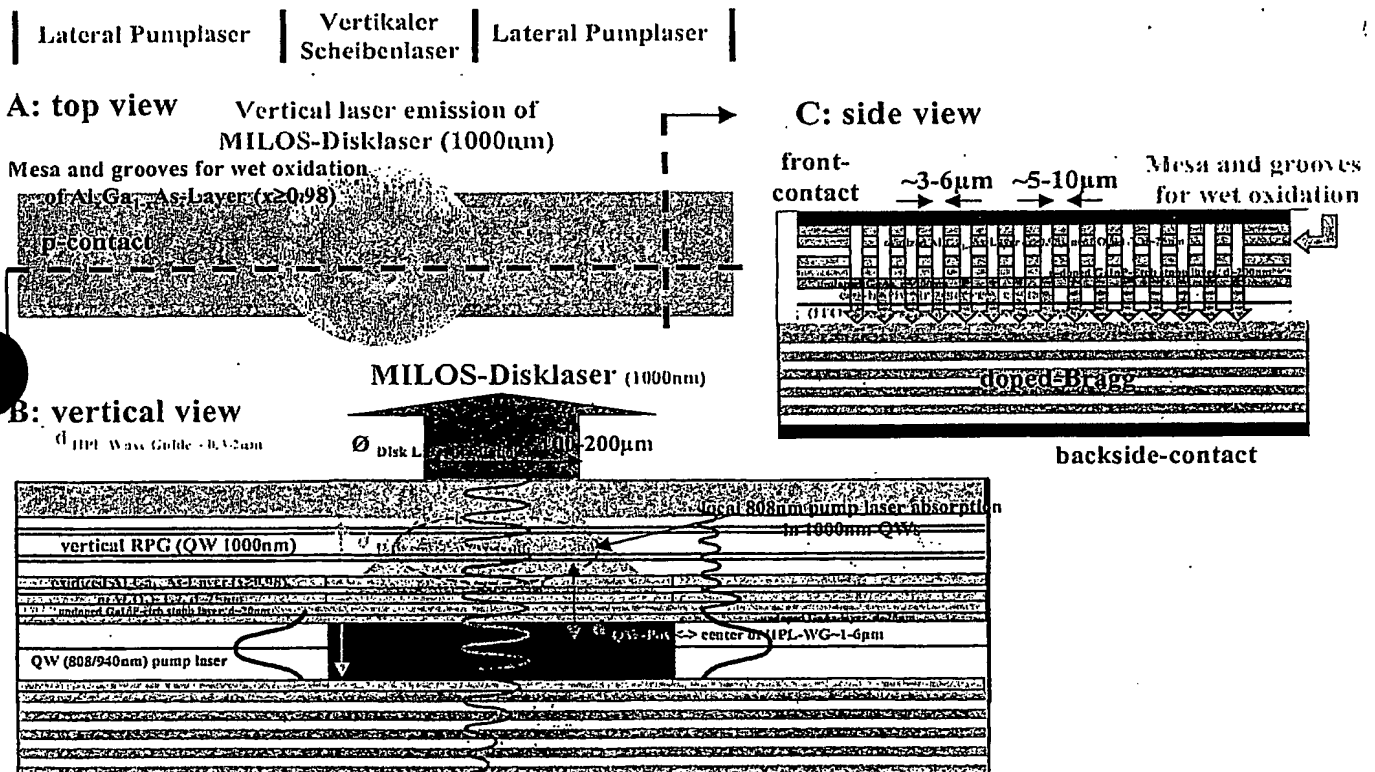


Abb. 1: Schematische Darstellung einer in Einschrittepitaxie realisierbaren MILOS-Scheibenlaserstruktur mit getrennter Wellenführung von Pumplaser QW (808/940nm)- und vertikal emittierender Scheibenlaserstruktur RPG mit QWs(1000nm) durch oxidierte hochaluminiumhaltige Schichten in der vertikalen Wellenleiterstruktur. Der Strom fließt über den unteren Kontakt oder wird über eine hochdotierte GaAs-Schicht seitlich heraus geführt.

In Abb. 2 sind Rechnungen zur vertikalen Wellenführung im elektrisch kontaktierten Kantenemitters (Pumplaser) gezeigt. Das Brechungsindexprofil und die Lage der Quantenfilme im pn-Bereich ergeben eine optimale Wellenführung und Verstärkung der Grundmode in vertikaler Richtung.

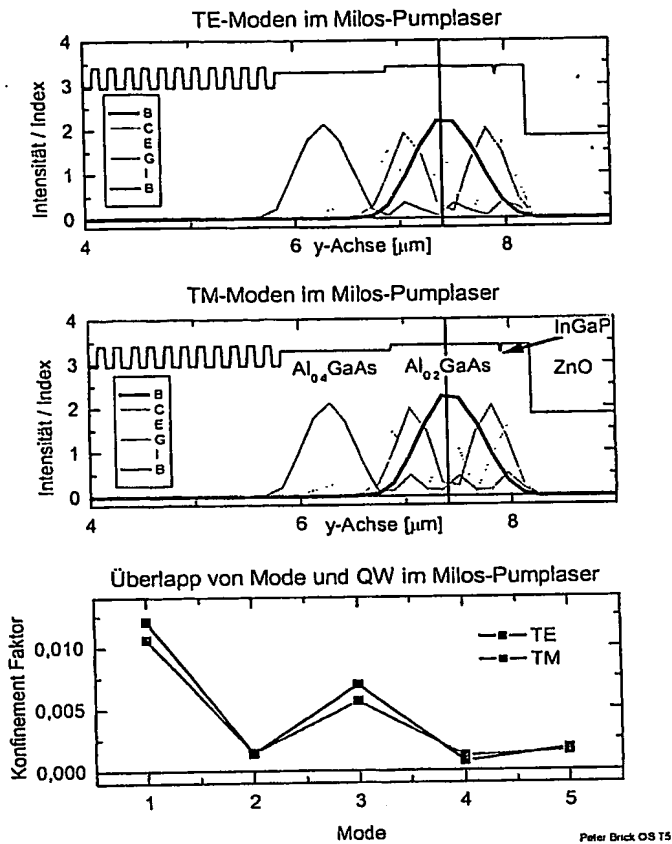


Abb. 2: Analyse der verschiedenen Moden in vertikaler Richtung im Pumplaserbereich und deren Überlapp mit ein oder mehreren Quantenfilmen. Die Rechnungen zeigen einen guten Konfinementfaktor und damit Verstärkung für die TE/TM-Grundmode 1.

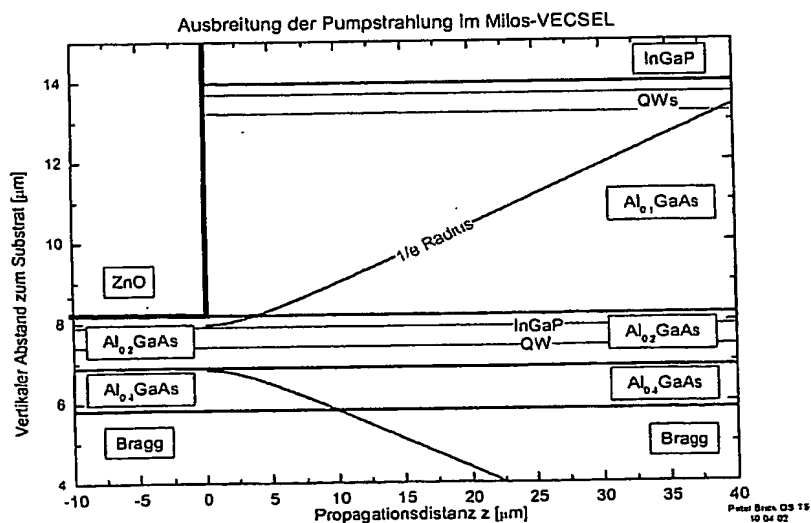


Abb. 3: Rechnungen zur vertikalen Ausbreitung der Pumplaserstrahlung in den oberflächenemittierenden Scheibenlaserbereich.

Die Ausbreitung des Pumplichts beim Übergang vom lateralen Pumplaserbereich in den vertikalen Scheibenlaserbereich, siehe Abb. 3, kann als nahezu gaußförmige Ausbreitung in vertikaler Richtung mit definiert einstellbarem Überlapp zu den Quantenfilmen realisiert werden. Die Vorteile dieser Ausführungsform sind in der Patentanmeldung PCT/DE03/01426 beschrieben, deren Inhalt durch Referenz in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird, und werden hier nicht weiter ausgeführt.

Der *MILOS*-Epitaxieschichtaufbau in *Einschrittepitaxie* umfaßt

1. einem Braggspiegel (DBR) als Resonatorspiegel für den vertikalen Resonator des Scheibenlasers (Eine Dotierung des DBR für elektrisches Pumpen im Bereich des lateralen Pumplaser ist nicht unbedingt notwendig und führt zu unerwünschten Verlusten (typ. >50% in der Ausgangsleistung) wie z.B. free carrier absorption im vertikalen Resonator);
2. einem Pumplaserbereich mit pn-Übergang zum elektrischen Pumpen von ein oder mehreren Quantenfilmen
3. einem Übergangsbereich mit Schichtfolgen, bei denen zumindest eine hochdotierte Kontaktschicht (typ. $>10^{19}$ für einen nachfolgend herzustellenden quasi ohmschen Halbleiter-Metallkontakt mit geringem Kontaktwiderstand ermöglichen zu können) mit geringer Schichtdicke vorliegt, deren Lage sich vorzugsweise im Knoten des optischen Stehwellenfelds des Vertikalresonator befindet, um mögliche Verlustmechanismen wie z.B. free-carrier absorption zu verhindern. Eine nachträgliche Dotierung zur besseren Kontaktierung z.B. durch Diffusion ist möglich, jedoch nicht mehr Stand der Technik. Des weiteren kann der Übergangsbereich durch weitere Schichtfolgen gekennzeichnet sein, die
 - 3a) vorzugsweise ein oder mehreren hochaluminiumhaltigen $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Schichten ($x \geq 0.98$ für eine lokale Oxidation im nachfolgenden Chipprozeß) in Kombination mit ein oder mehreren Ätzstoppschichten besteht (siehe Abb. 1) oder
 - 3b) nur aus ein oder mehreren Ätzstoppschichten besteht, die ein definiertes lokal selektives Ätzen bis in den Wellenleiterbereich des Pumplasers auf wafer-level ermöglichen und durch Aufbringen eines transparenten nichtabsorbierenden elektrischen Kontakts (z.B. ZnO, ITO für p-Kontakt) mit niedrigem Brechungsindex ($n(\text{ZnO}) \sim 1,85$, $n(\text{ITO}) \sim 2,0$ relativ zum Halbleiterbrechungsindex für eine guten Wellenführung im Pumplaserbereich sorgt) dienen (3a ist nur eine mögliche Variante für den Fall, das es, für die in 3b) beschriebenen vorzugsweise Ausführungsform mit einem ganzflächigen elektrisch leitfähigen Metallkontakt, zu signifikant optischen Verlusten im Pumplaserbereich kommt),
4. einer RPG-Struktur mit Quantenfilmen bestehend aus einem Wellenleiterbereich für die Aufweitung des Pumplichts (vorzugsweise durch das Brechungsindexprofil von Bragg- und Windowlayer definiert) und Absorptionsschichten für das Pumplicht, dessen Absorption vorzugsweise in den Quantenfilmen erfolgt und, in Kombination mit der lateralen Pumpenanordnung, ein vorzugsweise supergauß- bis top-hat-förmiges Absorptionsprofil ermöglicht, das für einen effizienten vertikalen Laserbetrieb, vorzugsweise in lateraler Grundmode TEM_{00} , notwendig ist.
5. Zur Steigerung der elektro-optischen Konversionseffizienz (wall plug efficiency) sind neben unterschiedlich lateralen Anordnungen von Pumplasern und deren Überlagerung im Vertikalresonatorbereich mit optischer Absorption des Pumplichts, d.h. lateral optischem Pumpen der Quantenfilme dergestalt möglich, das vorzugsweise ein kreisrunder Gainbereich mit guter Anpassung von Pump- und Lasermode erzielt wird, zusätzliche Modifikationen, wie z.B. lokales Durchmischen der Quantenfilme im oberflächenemittierenden Bereich der Milos-Scheibenlaserstruktur möglich. Letzteres dient einer zusätzlich gezielten Steuerung des lateralen Absorptionsprofils auf wafer-level in dem vorzugsweise ein unerwünschtes, meist rechteckigförmig gepumptes

Absorptionsprofil quasi verlustfrei in ein kreisrundes Gainprofil mit gutem Überlapp zur lateralen TEM₀₀-Lasermode des Vertikalresonators überführt werden kann. Entsprechende Anordnungen sind auch in der Patentanmeldung PCT/DE01/01849 beschrieben, deren Inhalt durch Referenz in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird.

6. Der in 3 beschriebene Übergangsbereich besteht aus unterschiedlichen Schichtfolgen, die via Schichtdicken und Kompositionen durch das resultierende effektive Brechungsindexprofil wesentlich den Kopplungsgrad des Pumplichts in den vertikalen Wellenleiterbereich bestimmen. In Kombination mit den unterschiedlichen vertikalen Wellenleiterdicken im Pumplaser- ($d \sim 0.5-3 \mu\text{m}$) und vertikalen Mikroresonatorbereich ($d \sim 0.5-10 \mu\text{m}$) und Positionen/Anzahl der Quantenfilme in Letzterem kann eine optimierte Lichtkopplung von lateralem und vertikalem Laser gezielt eingestellt werden.

Die Oxidation der in 2a) beschriebenen hochaluminiumhaltigen Schichten in Teilbereichen führt dort zu einer relativ großen Brechungsindexänderung ($\Delta n = n(20\% \text{AlGaAs}) - n(\text{AlAs}) = 3.074 - 2.949 = 0.125 \rightarrow \Delta n = n(20\% \text{AlGaAs}) - n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 3.074 - 1.7 = 2.949$) und ermöglicht lokal eine starke optische Wellenführung des Pumplichts (siehe E-Feld (blau) in Abb. 1) in vertikaler Richtung. Im Bereich des Scheibenlasers (Abb. 1.A und B) sind die relativ dünnen hochaluminiumhaltigen Schichten nicht oxidiert, so daß sich die Pumpwelle in den Bereich der vertikalen RPG-Struktur ausbreiten kann und die Quantenfilme (mit niederenergetischer Emission bei 1000nm) das höherenergetische Pumplicht absorbieren können. Die Vorteile dieser vertikalen Designstruktur für ein großflächiges lateral optisches Pumpen sind ebenfalls in der Patentanmeldung PCT/DE03/01426 beschrieben.

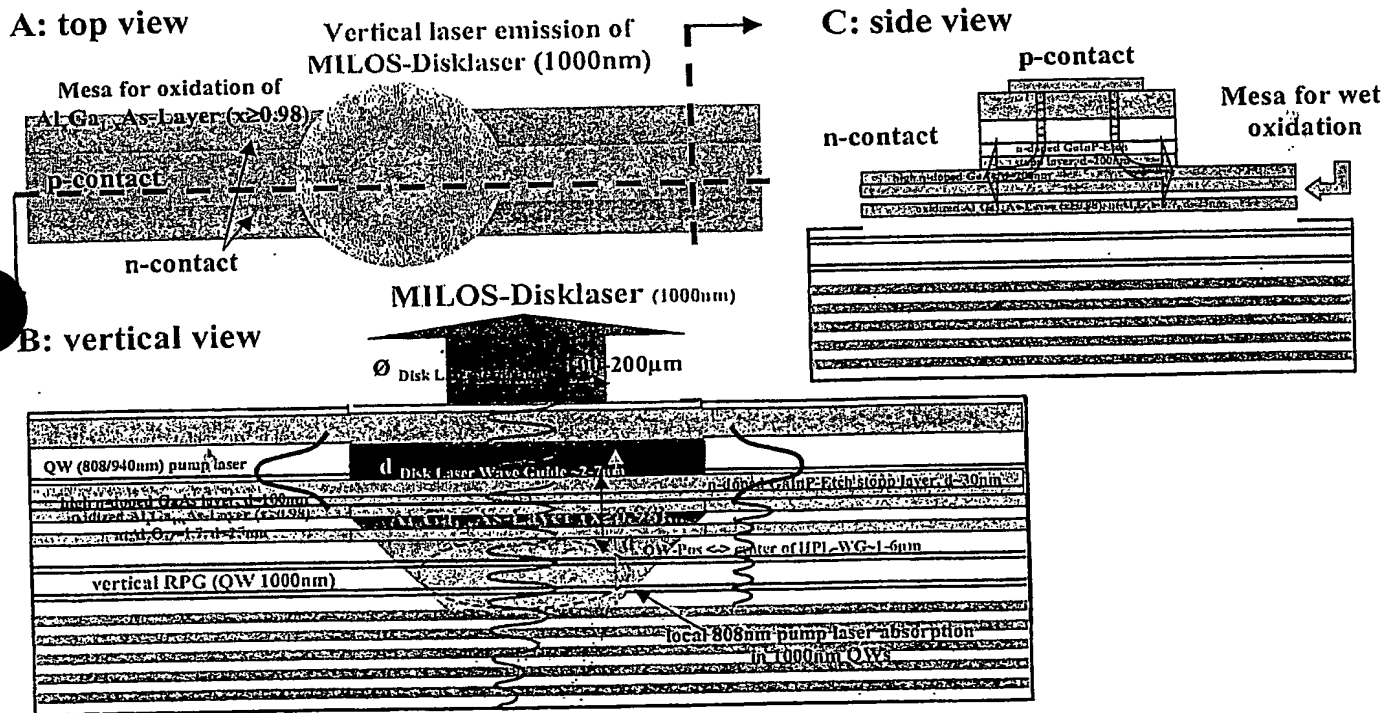


Abb. 4: Schematische Darstellung einer in Einschrüppepitaxie realisierbaren MILOS-Scheibenlaserstruktur mit getrennter Wellenführung von Pumplaser QW (808/940nm)- und vertikal emittierender Scheibenlaserstruktur RPG mit QWs (1000nm) durch oxidierte hochaluminiumhaltige Schichten in der vertikalen Wellenleiterstruktur. Der untere Kontakt wird über eine hochdotierte GaAs-Schicht seitlich herausgeführt.

Um die Pumplaserstrukturen elektrisch kontaktieren zu können, sind in Abb. 1 und 4 zwei unterschiedliche Lösungsvorschläge dargestellt. In Abb. 4 C wird der Strom über seitliche Kontakte geführt, während in Abb. 1 C eine Version mit ganzflächiger/teilstrukturierter Metallisierung auf Vorder- und Rückseite des Chips gezeigt ist.

Im Vergleich zu den in Abb. 1. und 4 gezeigten Ausführungsformen liefert die in Abb. 5 schematisch im Querschnitt dargestellte Struktur eine deutlich vorteilhaftere Version eines MILOS-Disklasers in Einschrittepitaxie. Der Vorteil liegt in der fertigungstechnisch einfachen Ausführungsform mit ganzflächig transparentem p-Kontakt im Bereich des Pumplasers. Dazu wird nach der Epitaxie im Bereich der Pumplaser durch selektives Ätzen mittels Ätzstoppschicht definiert in den Wellenleiter geätzt, anschließend ein transparenter leitfähiger p-Kontakt (ZnO/ITO) und eine p-Metallisierung aufgebracht, die vorzugsweise auch als metallischer Reflektor für das Pumplicht an der MESAflanke optische Verluste für Winkel unter dem Totalreflektionswinkel verhindert. Der Bragg-Spiegel kann dotiert sein, um eine elektrische Stromeinprägung im Pumplaserbereich zu ermöglichen. Dabei muß man beachten, das mit der Dotierung auch eine zusätzliche Absorption durch freier Ladungsträger (free carrier absorption proportional zur Ladungsträgerdichte und Wellenlänge) zu signifikant hohen optischen Verlusten im vertikalen Laserresonator führen. Die Absorption im Braggspiegel kann durch niedrigere Dotierung/Absorption in den obersten Spiegelpaare mit größerer E_H -Feldamplitude (siehe Abb. 5) reduziert werden, wobei eine deutliche Effizientsteigerung durch einen undotierten Braggspiegel vorteilhaft ist.

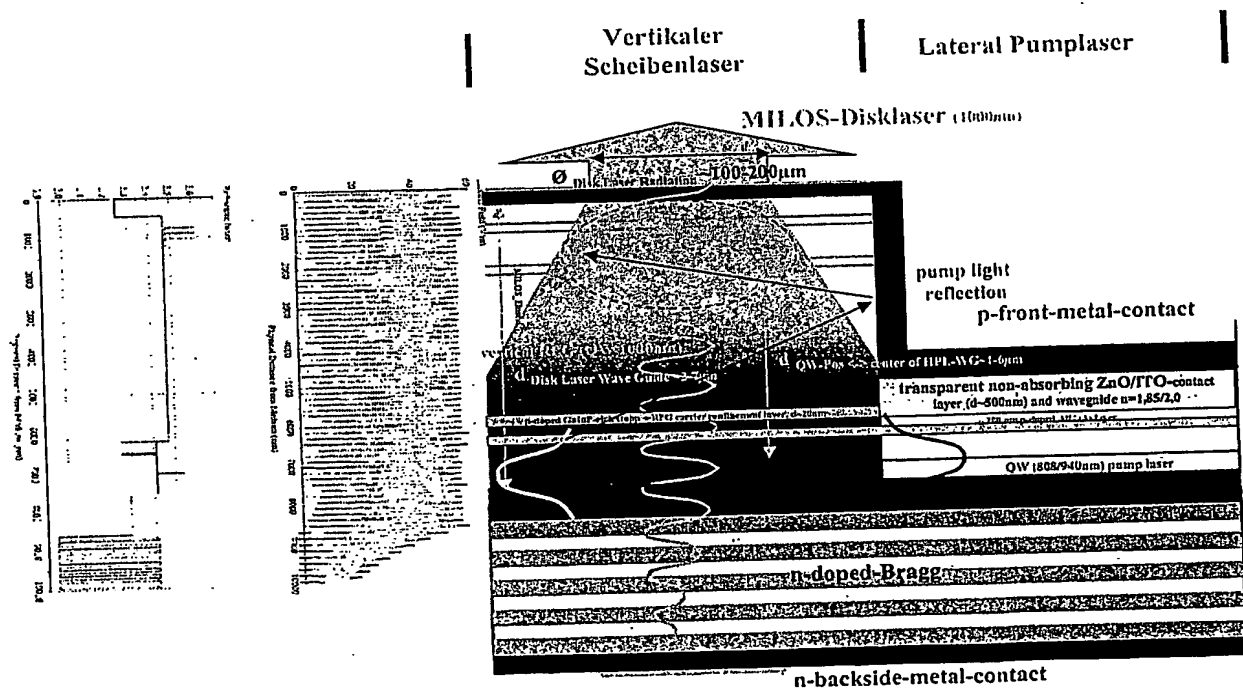


Abb. 5: Schematische Aufbau eines MILOS-Disklasers in Einschrittepitaxie mit den Bereichen für ein oder mehreren lateralen Pumplasern (rechts), vertikalem Scheibenlaser (mitte) und dem dazugehörigen elektrischen Stehwellenfeld (vertikale Laseremissionswellenlänge) mit Brechungsindexprofil (links).

In Abb. 6 ist ähnlich wie in Abb. 5 eine schematisch 3D-Darstellung eines MILOS in Einschrittepitaxie mit lateral gegenüberliegenden, in der Regel optisch gekoppelten Kantenemittern als Pumplaseranordnung zu sehen. Die Laserfacetten des Pumplasers können wie bei herkömmlichen kantenemittierenden Laserdioden durch Ritzen&Brechen entlang der kristallographischen Achsen des Halbleitersubstrats und anschließendes Verspiegelung mit

hoher Reflektivität ($R > 90\%$) hergestellt werden. Dadurch soll kein Pumplicht aus dem lateralen Pumplaser-Resonator ausgekoppelt werden, sondern idealerweise über den resonatorinternen Scheibenlaser-Bereich mit Absorption der Pumpstrahlung in den Quantenfilmen ein effizienter optischer Pumpmechanismus realisiert werden, der deutliche Vorteile im Vergleich zu extern optisch gepumpten OPS-Scheibenlasersystemlösungen aufweist. Die Strahlwandlung des kantenemittierenden Pumplaser hoher Leistung mit schlechter Strahlqualität im extern optisch gepumpten Scheibenlasersystem mit perfekter TEM_{00} -Strahlqualität kann bei der monolithischen Integration resonatorintern und damit nahezu verlustfrei realisiert werden.

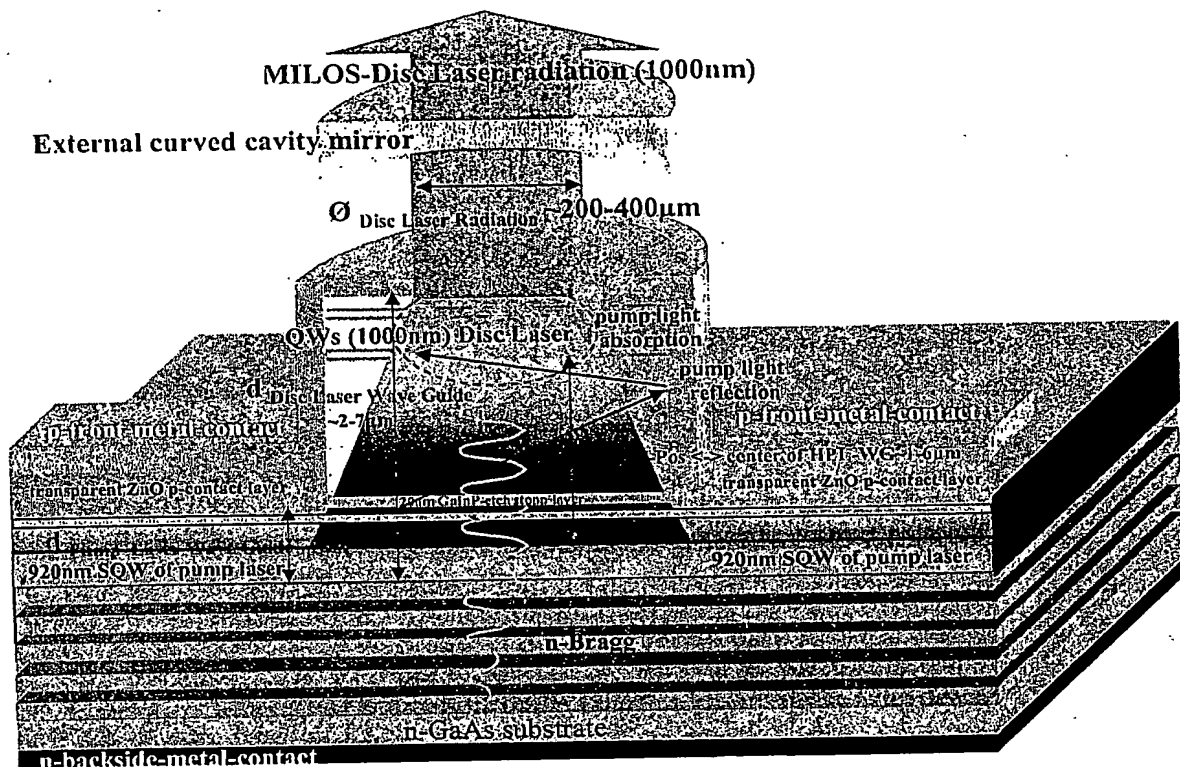


Abb. 6: Schematische 3D-Darstellung eines MILOS mit zwei gegenüberliegenden gekoppelten Pumpbereichen mit hochverspiegelten Laserfacetten und dem vertikalen Laserresonatorbereich als resonatorinternen Verlustmechanismus der Kantenemitter.

Der MILOS-Scheibenlaser stellt aufgrund der optischen Kopplung der verschiedenen lateralen und vertikalen Laserresonatoren eine neue Laserklasse dar, die eine optimale Synthese der beiden grundlegenden Laserkonzepte (Kanten- versus Oberflächenemitter) in der Laserphysik ermöglicht. Die monolithische Integration reduziert desweiteren die Produktkosten und die Baugröße von optisch gepumpten Halbleiterscheibenlaserkonzepten. Im Vergleich zum Milos hat der elektrisch gepumpte Halbleiterscheibenlasern, auch als VECSEL oder NECSEL bezeichnet, zwei wesentliche Nachteile: Zum einen die Limitierung in der optischen Ausgangsleistung ($P < 0.5-1W$) mit guter Strahlqualität (aufgrund der bei Stromeinprägung an einem ohmschen Kontakt immanent erzeugte joulesche Verlustwärme) und zum anderen in der geringen stehenden optischen Leistung im externen Resonator, die z.B. bei einer effizienten resonatorinternen Frequenzverdopplung Probleme bereitet. Der MILOS-Scheibenlaser weist durch die Separation des lateraler Pumplasers vom optisches Pumpen der vertikalen Laserstruktur, eine räumlich Trennung der Verlustleistungsquellen auf (elektrisches Pumpen+ optische Verluste im Kantenemitterbereich und optische Verluste mit hohen Verlustleistungsdichten im vertikalen Scheibenlaserbereich). Bei guter thermischer Anbindung ist damit eine

effiziente Wärmeabfuhr über die Fläche möglich. Die optische Ausgangsleistung mit guter Strahlqualität kann dann, ähnlich wie beim extern optisch gepumpten Scheibenlaser, via Pumpspotdurchmesser skaliert werden. Im Vergleich zum Barrierenpumpen im extern optisch gepumpten Scheibenlaser kann durch Quantenwellpumpen beim MILOS der Quantendefekt als Energieüberschuß von Pump- zu vertikaler Laserstrahlung deutlich reduziert und damit die wall plug-Effizienz signifikant gesteigert werden (+10%). Für eine hohe optische Ausgangsleistung und Effizienz eines MILOS-Scheibenlasersystems ist ein guter Überlapp des idealerweise zirkularen (super-)gaußähnlichen Absorptionsprofils im vertikalen Scheibenlaserbereich mit dem TEM_{00} Lasermode notwendig.

curved waveguide (mirror free) design

linear coupled pump laser configuration

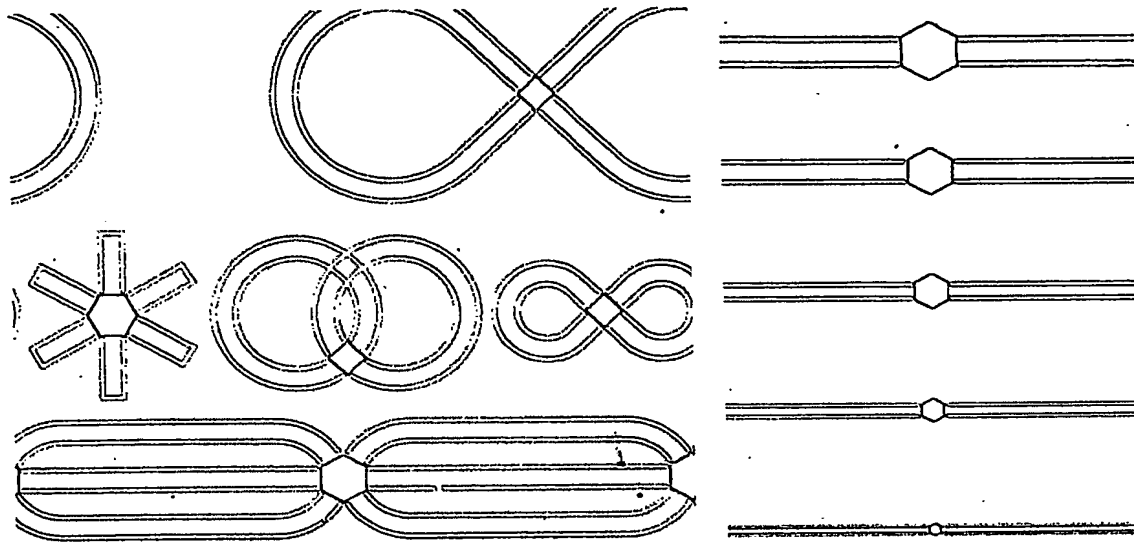


Abbildung 7: Verschiedene laterale Pumpkonfigurationen für MILOS-Scheibenlaser.

In Abb. 7 sind verschiedene laterale Pumpkonfigurationen dargestellt, bei denen quadratische oder sechseckige Scheibenlaserbereiche optisch gepumpt werden. Um auch hier ein

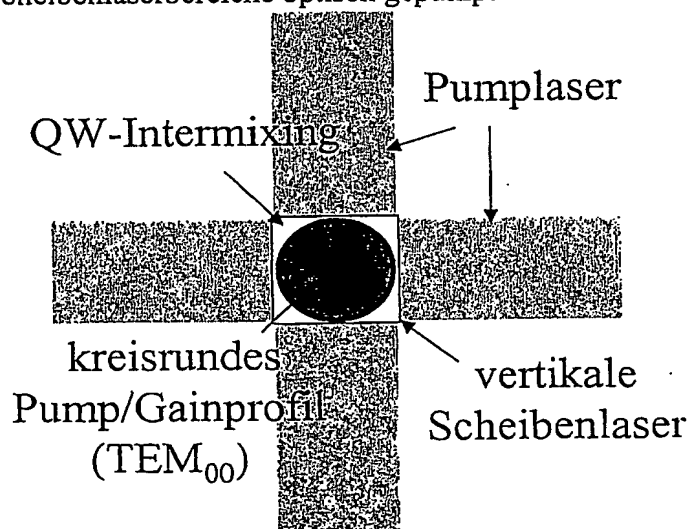


Abb. 8: Kreisrundes Pump/Gainprofil durch QW-Intermixing in den grauen Bereichen für optimalen Überlapp mit der TEM_{00} -Mode des oberflächenemittierenden MILOS-Scheibenlasers.

zirkular-symmetrisches Absorptionsprofil zu erreichen, ist folgender Ansatz möglich:
Zur weiteren Effizienzsteigerung kann in verschiedenen Pumplaseranordnungen durch lokales Durchmischen der Quantenfilme in der RPG-Struktur eine verlustfreie Anpassung von lateraler Pump- zu TEM₀₀-Laserprofil erzielt werden. Beim Durchmischen der Quantenfilme wird die Absorptionskante von typ. 1000nm auf 900nm verändert, so das bei einer typischen Pumpwellenlänge von 920nm die Pumplichtabsorption lokal im Scheibenlaserbereich definiert eingestellt und auf Waferlevel fertigungstauglich übertragen werden kann. In Abb. 8 ist eine solche MILOS-Struktur in der Draufsicht mit zwei linearen Pumplaserkonfigurationen dargestellt, bei der im Scheibenlaserbereich mittels QW-Intermixing in den grauen Bereichen keine Pumplichtabsorption möglich ist und damit ein kreisrundes Pump- und damit Absorptionsprofil erzeugt werden kann. Damit kann ein effizientes MILOS-Halbleiterscheibenlaser realisiert werden.

Patentanspruch:

Halbleiterlaservorrichtung mit

- einem Braggspiegel (DBR) als Resonatorspiegel für den vertikalen Resonator des Scheibenlasers,
- einem Pumplaserbereich mit pn-Übergang zum elektrischen Pumpen von ein oder mehreren Quantenfilmen,
- einem Übergangsbereich mit Schichtfolgen, bei denen zumindest eine hochdotierte Kontaktschicht mit geringer Schichtdicke vorliegt, deren Lage sich vorzugsweise im Knoten des optischen Stehwellenfelds des Vertikalresonator befindet, und
- einer RPG-Struktur mit Quantenfilmen, umfassend einen Wellenleiterbereich für die Aufweitung des Pumplichts und Absorptionsschichten für das Pumplicht.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.